

TARTU ÜLIKOOL
Arvutiteaduse instituut
Infotehnoloogia mitteinformaatikutele õppekava

Merike Hindrikson

Veebirakendus vooluveekogumite seisundite hindamiseks

Magistritöö (15 EAP)

Juhendaja: Helle Hein, PhD

Tartu 2019

Veebirakendus vooluveekogumite seisundite hindamiseks

Lühikokkuvõte: Käesoleva magistritöö eesmärk oli luua veebirakendus vooluveekogumite seisundite hindamiseks ja andmete visualiseerimiseks. Lahendusega on võimalus hinnata vooluveekogumi ökoloogilist seisundit füüsikalis-keemiliste kvaliteedinäitajate alusel valitud seireperioodi kohta. Rakendus pärib andmebaasist sobival kujul andmed, visualiseerib need, arvutab erinevaid arvkarakteristikuid ja annab ökoloogilised seisundiklassid koos füüsikalis-keemiliste üldtingimuste koondmäärangutega. Rakenduse loomiseks kasutati andmebaasisüsteemi SQLite, programmeerimiskeelt R ja tema veebirakenduste loomiseks mõeldud lisapaketti Shiny.

Võtmesõnad: Andmebaasid, SQLite, R, Shiny, Andmeanalüüs

CERCS: P170 – Arvutiteadus, arvutusmeetodid, süsteemid, juhtimine (automaatjuhtimisteooria)

Web Application for Evaluation the Status of Watercourses

Abstract: The aim of this Master's thesis was to create a web application for assessing the status of watercourses and visualizing data. The application has the ability to assess the ecological status of a watercourse on the basis of physico-chemical quality indicators for the selected monitoring period. The application inherits suitable data from the database, visualizes it, calculates different numerical characteristics and provides ecological status classes and a general estimations for physico-chemical conditions. The database system SQLite, the programming language R and its additional package Shiny were used to create the application.

Keywords: Database, SQLite, R, Shiny, Data analysis

CERCS: P170 – Computer science, numerical analysis, systems, control

Sisukord

1. Sissejuhatus.....	4
2. Valdkonna kirjeldus.....	6
2.1 Vooluveekogumi ökoloogilise seisundiklassi määramine	6
3. Ülevaade olemasolevast lahendusest.....	12
4. Nõuded loodavale rakendusele	15
5. Kasutatud tehnoloogiate ülevaade.....	17
5.1 Andmebaasisüsteem SQLite	17
5.2 Programmeerimiskeel R ja tema lisapakett Shiny.....	17
6. Loodud veebirakendus.....	19
6.1 Eesmärk ja arhitektuur	19
6.2 Andmebaasi loomine	20
6.3 R ja Shiny	23
6.4 Veebirakenduse ülesehitus ja võimalused	23
6.5 Testimine	32
7. Kokkuvõte	34
8. Kasutatud kirjandus	35
9. Lisad	37
I. Lühendid ja mõisted.....	37
II. Väljavõtte rakenduse poolt kasutatavast andmebaasi tabelist	38
III. Veebirakenduse aadress.....	39
IV. Litsents.....	40

1. Sissejuhatus

Eesti riikliku keskkonnaseire üks peamisi eesmärgi on saada ülevaade keskkonna seisundist ja selles toimuvatest muutustest. Ühtne tegevusraamistik vee kaitse kavandamiseks ja korraldamiseks Euroopa Liidus on kehtestatud veepoliitika raamdirektiivis (VRD) 2000/60/EC, millest juhendatakse ka Eesti veeseire kavandamisel ja veekogude seisundi hindamisel. VRD kohaselt tuleb anda veekogu ökoloogilise seisundi hinnang võrdlusena looduslike ehk inimtegevusest mõjutamata tingimustega [1].

Pinnaveekogumite ökoloogilise seisundi hindamist kirjeldab keskkonnaministri 28.07.2009. a määrus nr. 44 "Pinnaveekogumite moodustamise kord ja nende pinnaveekogumite nimestik, mille seisundiklass tuleb määrata, pinnaveekogumite seisundiklassid ja seisundiklassidele vastavad kvaliteedinäitajate väärtused ning seisundiklasside määramise kord" [1]. Nimetatud määruse järgi hinnatakse vooluveekogumite ökoloogilist seisundit järgmiste kvaliteedinäitajate alusel: pH, lahustunud hapnik, biokeemiline hapnikutarve (BHT_5), ammoniumi (NH_4^+), üldlämmastiku ($N_{\text{üld}}$) ja üldfosfori ($P_{\text{üld}}$) sisaldus. Vastavalt vooluveekogu tüübile (A, B, IV) on määrukses sätestatud kvaliteedinäitajate väärtused ja nendele vastavad ökoloogilised seisundiklassid.

Käesoleva magistritöö eesmärk on luua veebirakendus Eesti vooluveekogumite seisundite hindamiseks keskkonnaseire andmete põhjal. Sellega automatiseeritakse olemasolev Excelil põhinev hindamisprotsess. Rakendus väljastab hinnatava kvaliteedinäitaja arvarakteristikud ja ökoloogilise seisundiklassi valitud vooluveekogumi ja seireperioodi kohta. Samuti visualiseeritakse tulemused interaktiivsel joonisel, mis võimaldab kasutajal kuvada valitud kvaliteedinäitaja väärtused ja näha selle pikaajalist suundumust. Lisaks on joonisele võimalik kanda antud vooluveekogumi tüübile sätestatud kvaliteedinäitaja seisundiklasside piirid. Kokkuvõtvalt on lahenduses esitatud vooluveekogumite füüsikalise-keemiliste kvaliteedinäitajate ökoloogilised seisundiklassid ja füüsikalise-keemiliste üldtingimuste koondmäärangud valitud seireperioodi kohta.

Töö on jagatud kuueks peatükiks. Esimeses peatükis antakse ülevaade käsitletavast valdkonnast. Teises peatükis tutvustatakse olemasolevat lahendust. Järgnevalt tuuakse ära loodava rakenduse funktsionaalsed ja mittefunktsionaalsed nõuded. Neljandas peatükis

tutvustatakse kasutatud tehnoloogiaid. Viiendas peatükis kirjeldatakse magistritöö käigus loodud veebirakenduse loomise etappe ja antakse ülevaade valminud rakendusest ning selle testimisest. Viimases peatükis tehakse tööst kokkuvõte ja arutletakse rakenduse edasiarendamise võimaluste üle.

2. Valdkonna kirjeldus

Vastavalt VRD ja teiste direktiivide ning Eesti seadusandluse nõuetele tuleb tagada pinnavee hea ökoloogiline ja keemiline seisund aastaks 2021. Seiretulemuste põhjal määratakse pinnaveekogumite keemiline seisund ja inimtekkelise mõju ulatus. Vooluveekogumite seisundi hindamist viiakse läbi riikliku keskkonnaseire programmi allprogrammi siseveekogude seire osana "Jõgede hüdrokeemiline seire". Veekogumi seisundi hindamisel tuleb lähtuda VRD-st, selle tütar direktiividest, juhendmaterjalidest ja siseriiklikest õigusaktidest. Veekogumi ökoloogilise seisundi hindamisel lähtutakse keskkonnaministri 28.07.2009 määrusest nr. 44 [2].

Vooluveekogumite ehk jõgede hüdrokeemilise seire eesmärgiks on pideva ülevaate saamine jõgede hüdrokeemilisest seisundist, saastekoormustest ning jõgede hüdrokeemilise seisundi hindamine ja pikaajaliste muutuste jälgimine. Seire tulemuste alusel jälgitakse jõgede veekvaliteedi vastavust rahvusvahelistele ning Eesti seadusandluse poolt kehtestatud nõuetele, täidetakse Eestit siduvaid rahvusvahelisi kokkuleppeid (Genfi konventsioon, Helsingi konventsioon jne) ja rahvusvahelisi uurimisprogramme. Seire andmeid kasutatakse riigi veeressursside ratsionaalse kasutamise ja kaitse planeerimiseks [3].

2.1 Vooluveekogumi ökoloogilise seisundiklassi määramine

Lähtudes "Veeseaduse" §3²² lõikest 3 on keskkonnaministri määrmuses nr. 44 vooluveekogude tüübid järgmised [2]:

- 1) **Tüüp I A** – tumedaveelised ja humiaineterikkad (KHT_{Mn}^1 90 %-ne väärtus üle 25 mgO/l) jõed valgala suurusega 10 - 100 km²;
- 2) **Tüüp I B** – heledaveelised ja vähese orgaanilise aine sisaldusega (KHT_{Mn} 90 %-ne väärtus alla 25 mgO/l) jõed valgala suurusega 10 - 100 km²;
- 3) **Tüüp II A** – tumedaveelised ja humiaineterikkad (KHT_{Mn} 90 %-ne väärtus üle 25 mgO/l) jõed valgala suurusega >100 - 1 000 km²;

¹ KHT_{Mn} – keemiline hapnikutarve (permanganaadne)

4) **Tüüp II B** – heledaveelised ja vähese orgaanilise aine sisaldusega (KHT_{Mn} 90%-ne väärtus alla 25 mgO/l) jõed valgala suurusega $>100 - 1\,000\text{ km}^2$;

5) **Tüüp III A**- tumedaveelised ja humiaineterikkad (KHT_{Mn} 90 %-ne väärtus üle 25 mgO/l) jõed valgala suurusega $>1\,000 - 10\,000\text{ km}^2$;

6) **Tüüp III B**- heledaveelised ja vähese orgaanilise aine sisaldusega (KHT_{Mn} 90 %-ne väärtus alla 25 mgO/l) jõed valgala suurusega $>1\,000 - 10\,000\text{ km}^2$;

7) **Tüüp IV** - jõed valgala suurusega üle $10\,000\text{ km}^2$ (Narva jõgi).

Pinnaveekogumi ökoloogiline seisund näitab veeökosüsteemide struktuuri ja funktsioneerimise kvaliteeti. Loodusläheduse järgi jaguneb pinnaveekogumi ökoloogiline seisund viieks seisundiklassiks järgmiselt [3]:

- **väga hea** – pinnaveekogum on looduslikus seisundis;
- **hea** – pinnaveekogum on looduslähedases seisundis;
- **kesine** – inim mõju pinnaveekogumile on mõõdukas;
- **halb** – pinnaveekogum on reostunud;
- **väga halb** – pinnaveekogum on tugevasti reostunud.

Vooluveekogumi ökoloogiline seisundiklass määratakse bioloogiliste kvaliteedielementide ökoloogiliste seisundiklasside ja bioloogilisi kvaliteedielemente toetavate füüsikalise-keemiliste üldtingimuste ökoloogilise seisundiklassi (koondmääranguna) alusel halvima järgi [2]. Hüdro-morfoloogiliste kvaliteedielementide ja kvaliteedinäitajate seisundiklasside järgi antavat koondmäärangut võetakse vooluveekogumi ökoloogilise seisundiklassi määramisel aluseks üksnes juhul, kui bioloogiliste kvaliteedielementide ja füüsikalise-keemiliste üldtingimuste järgi on vooluveekogumi seisundiklass väga hea [2]. Käesolevas töös on käsitletud üksnes vooluveekogumite füüsikalise-keemiliste üldtingimuste koondmäärangute määramist.

Füüsikalise-keemilised üldtingimused vooluveekogumi ökoloogilise seisundiklassi määramiseks põhinevad järgmistel kvaliteedinäitajatel: pH, lahustunud hapniku sisaldus, biokeemiline hapnikutarve (BHT_5), ammoniumi (NH_4^+), üldlämmastiku ($N_{\text{üld}}$) ja üldfosfori ($P_{\text{üld}}$) sisaldus.

Vooluveekogumi ökoloogilise seisundiklassi määramisel lähtutakse vooluveekogu tüübist ning vastavale tüübile sätestatud kvaliteedinäitajate väärtustest [3]. Klassifikatsioonid on toodud alljärgnevates tabelites 1-3 (väljavõtted määruse nr. 44 [2] lisast 4).

Tabel 1. Vooluveekogumite ökoloogiliste seisundiklas piirid füüsikalise-keemiliste üldtingimuste väärtuste järgi; tüübid I-A, II-A ja III-A [2].

Kvaliteedi-näitaja		Ühik	Väga hea klass	Hea klass	Kesine klass	Halb klass	Väga halb klass
pH	10% tagatusega väärtus	pH ühik	6-9	6-9	6-9	6-9	<6-9>
Lahustunud hapniku sisaldus	10% tagatusega väärtus	%küllastus-astmest	>60	60-50	<50-40	<40-35	<35
BHT ₅	Aritmeetiline keskmine	mgO ₂ /l	<2,2	2,2-3,5	>3,5-5,0	>5,0-7,0	>7,0
N _{üld}	Aritmeetiline keskmine	mg/l	<1,5	1,5-3,0	>3,0-6,0	>6,0-8,0	>8,0
P _{üld}	Aritmeetiline keskmine	mg/l	<0,05	0,05-0,08	>0,08-0,1	>0,1-0,12	>0,12
NH ₄ ⁺	90% tagatusega väärtus	mgN/l	<0,10	0,10-0,30	>0,30-0,45	>0,45-0,60	>0,60

Tabel 2. Vooluveekogumite ökoloogiliste seisundiklasside piirid füüsikalise-keemiliste üldtingimuste väärtuste järgi; tüübid I-B, II-B, III-B [2].

Kvaliteedi-näitaja		Ühik	Väga hea klass	Hea klass	Kesine klass	Halb klass	Väga halb klass
pH	10% tagatusega väärtus	pH ühik	6-9	6-9	6-9	6-9	<6-9>
Lahustunud hapniku sisaldus	10% tagatusega väärtus	%küllastus-astmest	>70	70-60	<60-50	<50-40	<40
BHT ₅	Aritmeetiline keskmine	mgO ₂ /l	<1,8	1,8-3,0	>3,0-4,0	>4,0-5,0	>5,0
N _{üld}	Aritmeetiline keskmine	mg/l	<1,5	1,5-3,0	>3,0-6,0	>6,0-8,0	>8,0
P _{üld}	Aritmeetiline keskmine	mg/l	<0,05	0,05-0,08	>0,08-0,1	>0,1-0,12	>0,12
NH ₄ ⁺	90% tagatusega väärtus	mgN/l	<0,10	0,10-0,30	>0,30-0,45	>0,45-0,60	>0,60

Tabel 3. Vooluveekogumite ökoloogiliste seisundiklasside piirid füüsikalise-keemiliste üldtingimuste väärtuste järgi; tüüp IV: jõe valgala suurus üle 10000 km² (Narva jõgi) [2].

Kvaliteedi-näitaja		Ühik	Väga hea klass	Hea klass	Kesine klass	Halb klass	Väga halb klass
pH	10% tagatusega väärtus	pH ühik	6-9	6-9	6-9	6-9	<6-9>
Lahustunud hapniku sisaldus	10% tagatusega väärtus	%küllastus-astmest	>70	70-60	<60-50	<50-40	<40
BHT ₅	Aritmeetiline keskmine	mgO ₂ /l	<2,0	2,0-2,5	>2,5-4,0	>4,0-5,0	>5,0
N _{üld}	Aritmeetiline keskmine	mg/l	<0,5	0,5-0,7	>0,7-1,0	>1,0-1,5	>1,5
P _{üld}	Aritmeetiline keskmine	mg/l	<0,04	0,04-0,06	>0,06-0,08	>0,08-0,1	>0,1
NH ₄ ⁺	90% tagatusega väärtus	mgN/l	<0,10	0,10-0,30	>0,30-0,45	>0,45-0,60	>0,60

Vooluveekogumi ökoloogilise seisundiklassi määramisel füüsikalise-keemiliste üldtingimuste järgi lähtutakse järgmisest [2]:

1. Kui pH on suurem kui 9.0 või väiksem kui 6.0, on füüsikalise-keemiliste üldtingimuste koondmäärang väga halb, sõltumata teistele kvaliteedinäitajatele määratud ökoloogilistest seisundiklassidest.
2. Kui pH väärtus on vahemikus 6.0 – 9.0, määratakse füüsikalise-keemiliste üldtingimuste koondmäärangu andmiseks igale hinnatavale kvaliteedinäitajale, välja arvatud pH, ökoloogiline seisundiklass tabelite 1 – 3 alusel ja antakse sellele ökoloogilisele seisundiklassile vastav hindepunkt skaalas 1 – 5 järgmiselt: 5 – väga hea; 4 – hea; 3 – kesine; 2 – halb; 1 – väga halb. Füüsikalise-keemiliste üldtingimuste koondmääranguks on kvaliteedinäitajatele antud hindepunktide summa.
3. Kui vähemalt ühe hinnatava kvaliteedinäitaja, välja arvatud pH, ökoloogiline seisundiklass on halb või väga halb, ei saa füüsikalise-keemiliste üldtingimuste koondmäärang sõltumata hindepunktide summast olla üle kesise.

4. Füüsikalis-keemiliste üldtingimuste koondmäärangu andmisel kasutatakse tabelit 4:

Tabel 4. Vooluveekogumi füüsikalis-keemiliste üldtingimuste koondmäärangud hindepunktide summa alusel.

Ökoloogiline seisundiklass	Väga hea	Hea	Kesine	Halb	Väga halb
Hindepunktide summa (maksimaalselt 25 p)	23-25 (92%)	18-22 (72%)	13-17 (52%)	8-12 (32%)	>8 (alla 32%)

Ökoloogiliste seisundiklasside leidmisel kasutatakse kas aritmeetilist keskmist (BHT_5 , $N_{\text{üld}}$ ning $P_{\text{üld}}$ hindamisel) või teatud tagatusega vastavat väärtust (protsentiili) (pH ning lahustunud hapniku hindamisel 10% tagatusega väärtust ja NH_4^+-N hindamisel 90% tagatusega väärtust).

Olgu kogumi maht N ja kogumi element x_i . Sel juhul aritmeetiline keskmine on [4]

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}.$$

Protsentiil ehk protsendipunkt ehk kvantiil on väärtus, millest väiksemaid väärtusi esineb vaid antud tõenäosusega (näiteks 0.5-kvantiil on mediaan²) [5]. Lahustunud hapniku ja pH korral leitakse 10%-le vastav väärtus, s.t. näiteks lahustunud hapniku sisaldus vees ei tohi langeda alla määratud väärtust enam kui 10%-l juhtudest ehk 90%-l mõõtmistel on hapniku sisaldus kõrgem. Ammooniumlämmastiku korral leitakse 90% tagatusega väärtus, s.t. 90%-l kogu vaatlustest on leitud näitaja kontsentratsioon väiksem või võrdne kui protsentiili vastav sisaldus [3].

Statistilistes tarkvarades on kasutusel palju erinevaid kvantiilide definitsioone. Tüüpi i kvantiil on defineeritud järgmiselt [6]:

$$Q_i(p) = (1 - \gamma)x_j + \gamma x_{j+1},$$

kus $1 \leq i \leq 9$, $\frac{j-m}{N} \leq p < \frac{j-m+1}{N}$, x_j on j -ndas element, N on kogumi maht, väärtus γ on funktsioon $j = [Np + m]$ ja $g = Np + m - j$ ning m on kvantiili tüübi põhine konstant.

² Mediaan on jaotuse keskmine liige, millest mõlemale poole jääb võrdne arv elemente [4].

Tarkvaras R kasutab kvantiili leidmise käsk *quantile()* defintitsiooni tüüpi 7, mille korral avaldub kvantiil järgmiselt [7]:

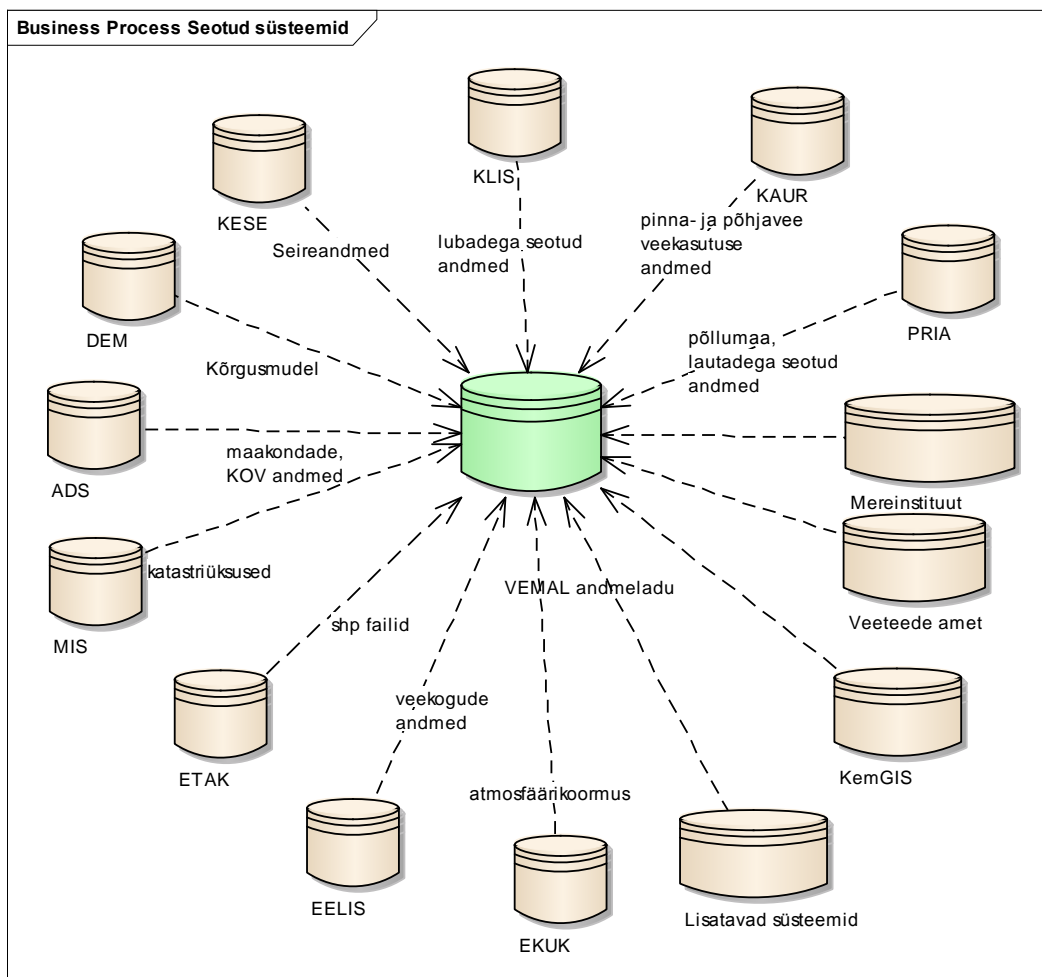
$$Q_7(p) = x_{[k]} + (k - [k])(x_{[k]+1} - x_{[k]}),$$

kus $k = (N - 1)p + 1$, N on kogumi maht, p on tõenäosus, $[k]$ on indeksi k täisosa ning $x_{[k]}$ on $[k]$ -ndas element järjestatud arvrees.

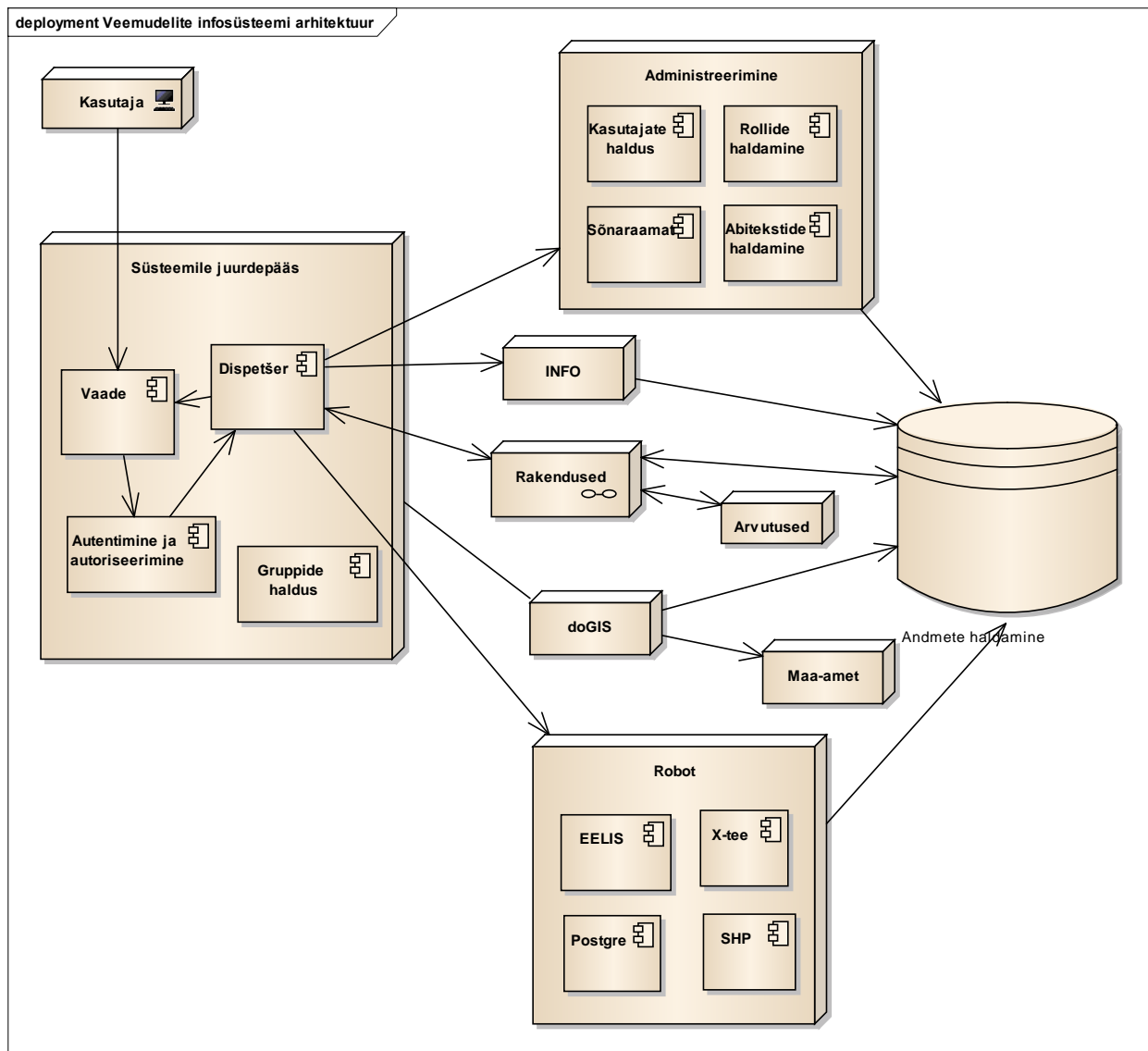
Põhjalikumalt on kvantiili tüüpe käsitlenud Hyndman ja Fan [8].

3. Ülevaade olemasolevast lahendusest

Veemudelite infosüsteem (Veeveeb) on Keskkonnaministeeriumi valitsemisalas ja avalikkuse vajadustest tulenev veebipõhine infokeskkond ja modelleerimisvahend, mis on abiks veespetsialistidele otsuste langetamisel siseveekogude ja rannikumere majandamisel ning annab avalikkusele teavet veekogude seisukorra kohta. Veeveeb integreerib andmeid paljudest vee- ja keskkonnaobjektide andmebaasidest. Integreeritavad süsteemid on EELIS, KemGIS, KESE, VEKA, PRIA, Maa-ameti süsteemid ADS, eKataster, ETAK, DEM-Kõrgusmodel, KLIS, KEMIT geoteenused (WCS-meremudel, WMS/WFS-muud andmekihid) [9]. Veeveebiga seotud süsteemid on näidatud joonisel 1 ning veeveebi loogiline arhitektuur on toodud joonisel 2.

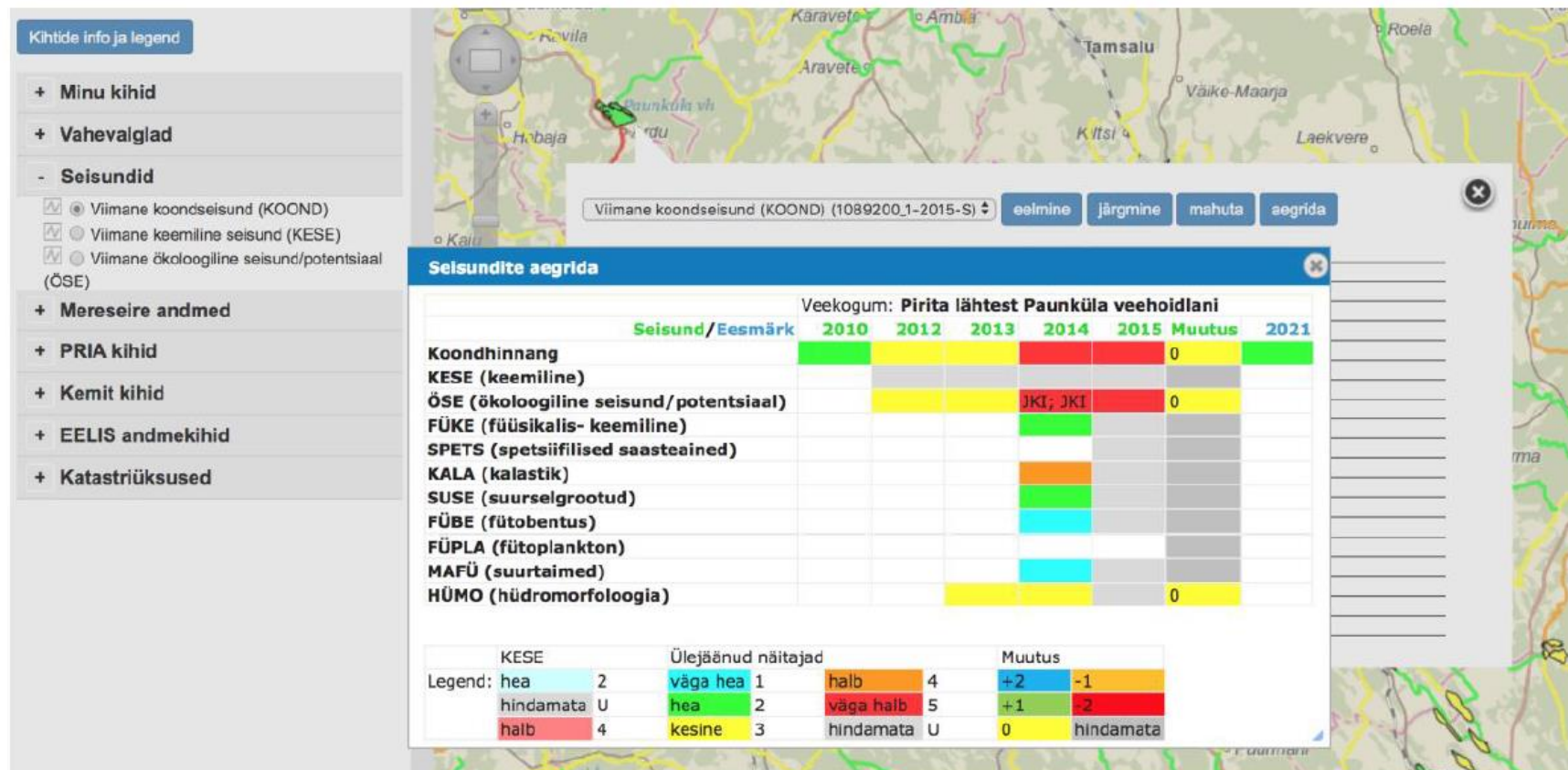


Joonis 1. Veeveebiga seotud süsteemid [9].



Joonis 2. Veeveebi arhitektuur [9].

Veeveeb võimaldab teha kaardilt seisundite infopäringuid, mille tulemusena on lisaks tekstilistele parameetritele võimalus vaadata aegrea tabelit, kus on näidatud, kuidas on veekogumi seisund aastatega muutunud ja mis on seatud eesmärgid (joonis 3). Kasutaja näeb füüsikalis-keemiliste üldtingimuste koondmääranguid tekstiliselt ja värvitähistustega. Samas ei näe kasutaja seisundite juures arvulisi väärtusi ning samuti ei saa kasutaja süsteemist teada üksikute kvaliteedinäitajate ökoloogilisi seisundiklasse. Seetõttu puudub süsteemis info, milline kvaliteedinäitaja on vastava seisundi konkreetses veekogumis põhjustanud, mis on antud töö üks peamisi eesmärke.



Joonis 3. Seisundi kihilt tehtud näidispäring aegrea vaatega [10].

4. Nõuded loodavale rakendusele

Tarkvara nõuete analüüs on osa tarkvara arenduse protsessist, mis määrab ära spetsifikatsioonid, mida kasutatakse tarkvara arendamisel [11].

Loodavale vooluveekogumite hindamise veebirakendusele seadis autor alljärgnevad funktsionaalsed ja mittefunktsionaalsed nõuded.

Funktsionaalsed nõuded:

1. Rakendus peab võimaldama valida rippmenüüst vooluveekogumi ja hinnatava kvaliteedinäitaja. Hinnatavateks kvaliteedinäitajateks on pH (proovivõtul), hapniku küllastusaste (proovivõtul), biokeemiline hapnikutarve (BHT_5), ammoniumlämmastik (NH_4^+), üldlämmastik ($N_{\text{üld}}$) ja üldfosfor ($P_{\text{üld}}$).

2. Rakendus peab võimaldama valida seireperioodi nii kalendrist kui ka trükkides formaadis YYYY-MM-DD.

3. Rakendus peab valitud andmed visualiseerima koos lineaarse trendijoone ja 95% usaldusvahemikuga.

Trendijoont kasutatakse andmeridade muutuste üldmustrite graafiliseks esitamiseks [12]. Lineaarne trendijoon näitab tavaliselt, et miski kasvab või kahaneb ühtlases joones. Lineaarne trendijoon kasutab joonele sobivate vähimruutude arvutamiseks järgmist võrrandit: $y = mx + c$, kus m on tõus ja c on äralõikepunkt [13]. Usaldusvahemik (a , b) katab parameetri väärtuse populatsioonis (üldkogumis, kõigi vaadeldavate indiviidide seas) teatud läve ületava tõenäosusega [14]. Parameetriks võib olla keskmine, dispersion, osakaal, regressioonikordaja jne. Tõenäosuse läve nimetatakse usaldusnivooks ja see valitakse olenevalt tunnuse tähendusest ja tulemuse tähtsusest: tavapäraselt 95%. Usaldusvahemik leitakse nii, et ainult väikese tõenäosusega (antud juhul kuni 5%) võiks parameetri tegelik väärtus olla väljaspool usaldusvahemikku. Arve a ja b nimetatakse vastavalt alumiseks ja ülemiseks usalduspiiriks [15].

4. Rakendus peab andma võimaluse kanda joonisele seisundiklasside piirid ja esitama need vastavate värvidega ning kuvama joonisele valitud seireperioodi keskmise

väärtuse. Kvaliteedinäitajatele sätestatud seisundiklasside piirid on toodud käesoleva töö tabelites 1 – 3.

5. Rakendus peab võimaldama joonisel huvipakkuvaid punkte selekteerida, et näha neile vastavaid väärtusi. Kuvama peab vähemalt järgmise info: seireaeg, kvaliteedinäitaja väärtus ja ühik.

6. Rakendus peab kuvama valitud kvaliteedinäitaja arvkarakteristikud ja ökoloogilise seisundiklassi valitud vooluveekogumi ja seireperioodi kohta. Arvutatud peavad olema järgmised arvkarakteristikud: valimi maht, aritmeetiline keskmine, mediaan, väikseim ja suurim väärtus ning dispersioon ja standardhälve. Dispersioon ehk keskmine ruuthälve on ruuthälvete keskmine (üksikute individuaalväärtuste x_i ja nende aritmeetilise keskmise \bar{x} vaheliste hälvete ruutude aritmeetiline keskmine):

$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}$ ning standardhälve ehk ruutkeskmine hälve on ruutjuur dispersioonist:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}} [4].$$

Lisaks valitud kvaliteedinäitaja ökoloogilise seisundiklassi tekstilisele väärtusele, peab olema toodud vooluveekogumi nimi, veekogumi kood, veekogumi tüüp ning hinnangu aluseks olev aritmeetiline keskmine (kvaliteedinäitajate BHT₅, N_{üld}, P_{üld} korral), 10% tagatusega väärtus (kvaliteedinäitajate pH, O₂ korral) või 90% tagatusega väärtus (kvaliteedinäitajate NH₄-N korral).

7. Rakendus peab väljastama kokkuvõtliku tabeli vooluveekogumite füüsikalise-keemiliste kvaliteedinäitajate ökoloogiliste seisundiklasside ja koondmäärangutega kasutaja poolt valitud seireperioodi kohta.
8. Rakendus peab sisaldama legendi.

Mittefunktsionaalsed nõuded:

1. Rakendus peab olema veebirakendus.
2. Rakendus peab olema lihtne ja kasutajasõbralik.
3. Rakendus peab vastama päringutele maksimaalselt 3 sekundiga.
4. Rakendus peab olema edasilaiendamise võimalusega.

5. Kasutatud tehnoloogiate ülevaade

5.1 Andmebaasisüsteem SQLite

Käesolevas töös kasutati vooluveekogumite andmebaasi loomiseks vabavaralist kvaliteetset ja lihtsat *sql*-põhist andmebaasisüsteemi SQLite. See sobib hästi juhul, kui soovitakse andmebaasisüsteemi otse oma rakendusse sisse ehitada ning ei vajata/soovita eraldi andmebaasiserveri installeerimist ja kasutamist [16]. SQLite omab kõiki *sql*-keele funktsioone, ei vaja konfigureerimist ning hoiustab terve andmebaasi ühes failis [17]. Nimetatud omaduste tõttu osutus SQLite autori esimeseks valikuks veebirakenduse tarbeks vajaliku andmebaasi loomisel. Lisaks SQLite käsureale oli kasutusel SQLite kasutajaliides SQLiteStudio.

5.2 Programmeerimiskeel R ja tema lisapakett Shiny

Autor otsustas valida magistritöö eesmärgi täitmiseks vabavaralise programmeerimiskeele R, kuna R on enim levinud vabavaraline tarkvara andmetöötluses, väga paindlik ja omab lisaks paljudele lisapakettidele ka veebirakenduse loomiseks mõeldud lisapaketti Shiny.

R on hierarhilise struktuuriga pakett, mis koosneb põhiosast ja lisapakettidest. R-i tugevaks küljeks on keerukate andmestruktuuridega hakkama saamine. Keele objekt (muutuja) võib sisaldada nii arve, loogilisi suurusi, teksti kui ka keerukamat infot, näiteks programmilõike. Keelel on tugev vektor- ja maatriksarvutuse toetus, väga hea indekseerimine, rikkalik matemaatiliste meetodite kogu ning väga võimalusterohke graafika. R töötab paljudel platvormidel, sealhulgas Microsoft Windows, Linux ja Mac OS X [18].

Arendusvahendina kasutas autor R-i kasutajaliidest RStudio [19], mis hõlbustab R-i kasutamist ja R-keeles programmide loomist, kuna omab koodiredaktorit, silumiskomplekse ja visualiseerimise vahendeid [20]. Samuti on RStudio varustatud projektijuhtimise ja versioonikontrolliga, andmete ja graafika vaatamise, pakettide haldamise ja paljude muude omadustega [21].

Shiny on R keele lisapakett, mis on mõeldud interaktiivsete veebirakenduste loomiseks otse R-st. Shiny on varustatud mitmesuguste funktsioonidega interaktiivsete kasutajaliideste kiireks ehitamiseks. Loodud rakenduse koodi on võimalik lisaks eraldiseisva veebilehena

jooksutada ka mujal veebiserveris või töötavas veebipõhises infosüsteemis lisamoodulina. Shiny kasutamiseks ei ole vaja veebiarendaja oskusi, aga samas saab vajadusel rakendust edasi arendada HTML, CSS, JavaScripti jQuery abil [21].

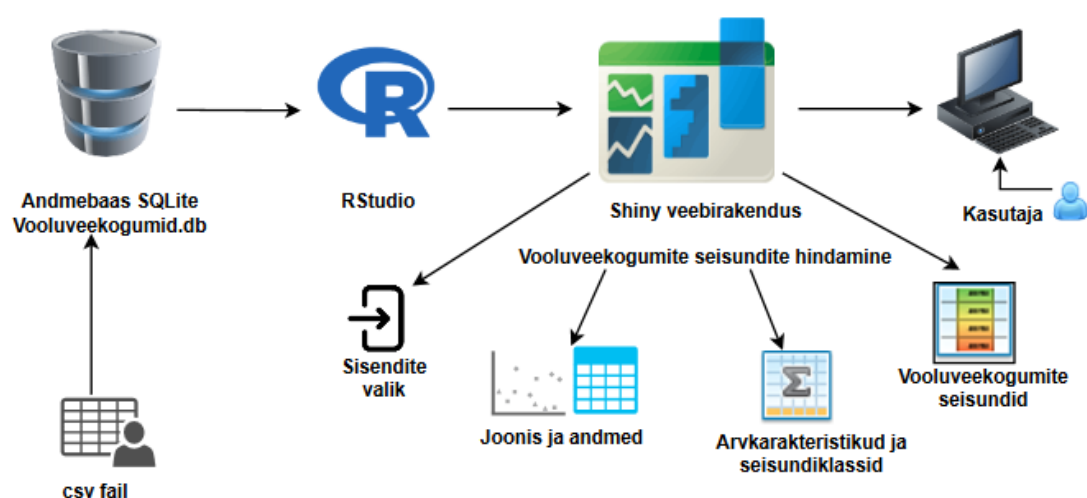
6. Loodud veebirakendus

6.1 Eesmärk ja arhitektuur

Käesoleva magistriöö eesmärgiks oli luua veebirakendus, mis annab hõlpsasti kasutajale ülevaate Eesti vooluveekogumite ökoloogilistest seisunditest füüsikalise-keemiliste kvaliteedinäitajate järgi. Veebirakenduse eesmärk on tööprotsesside automatiseerimine ja rakendus on mõeldud huvigruppidele igapäevaseks kasutamiseks.

Rakendus on programmeeritud RStudio ja tema veebirakenduste loomiseks mõeldud Shiny paketi abil. Rakendus kasutab vooluveekogumite andmebaasi ning vastavalt kasutaja poolt tehtud valikutele (sisendite valik) kuvatakse tulemused kolmes sakkis – I sakk: Joonis ja andmed; II sakk: Arvkarakteristikud ja seisundiklass; III sakk: Vooluveekogumite seisundid.

Alljärgneval skeemil on toodud veebirakenduse üldine arhitektuur.



Joonis 4. Arhitektuur

6.2 Andmebaasi loomine

Vooluveekogumite andmebaasi loomiseks kasutati andmebaasisüsteemi SQLite. Andmebaas "Vooluveekogumid.db" koosneb kahest tabelist (olemihulgast) – registreeritud seirejaamade ehk vooluveekogumite infot kajastav "Seirejaam" ja igakuiseid seire tulemusi sisaldav "Seireandmed_alates92". Andmebaasi UML (*Universal Modelling Language*) mudel on toodud joonisel 5.

Olemihulgas "Seirejaamad" toodud tunnused (atribuudid) kirjeldavad olemit ehk vooluveekogumi kohta käivat püsiinfot, milles primaarne identifitseeriv olemit ehk eksemplar ehk võti on tunnus "SeirekohaKKR". Tegemist on seirekoha keskkonnaregistri koodiga ehk Keskkonnaregistri objektidele omistatud unikaalse koodiga (seire puhul SJAXxxxxxx) [22]. Olemihulka "Seireandmed_alates92" koondatakse vooluveekogumites tehtud seirete analüüside tulemused. Olemihulkadel on 1:N (vooluveekogum - seiretulemused) seos seirekoha keskkonnaregistri koodi järgi ehk vooluveekogum hulgast "Seirejaam" on seotud suvalise mittenegatiivse täisarvu olemitega hulgast "Seireandmed_alates92" ning olem hulgast "Seireandmed_alates92" on seotud maksimaalselt ühe olemiga hulgast "Seirejaam".

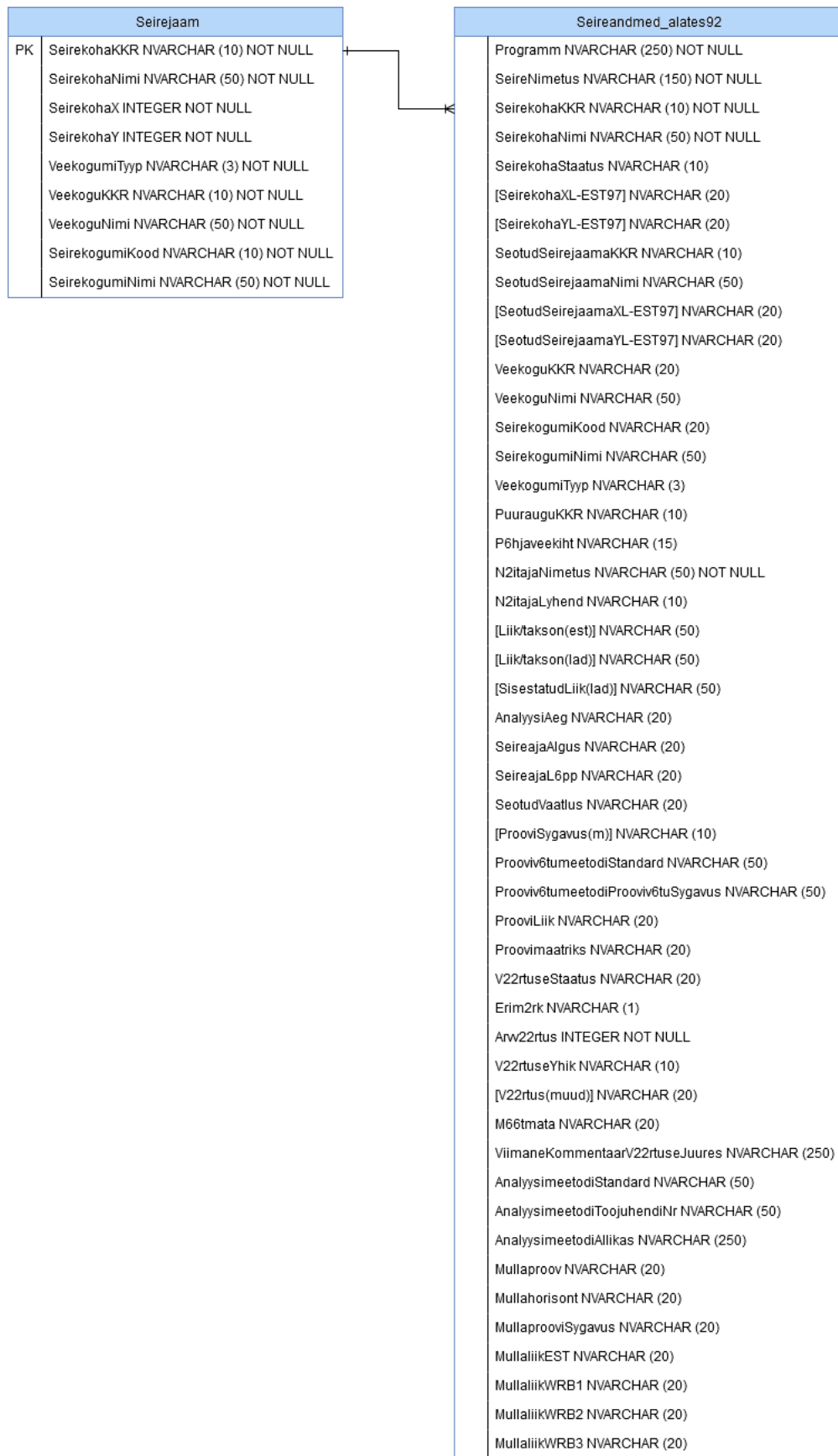
Seireandmete import olemihulka "Seireandmed_alates92" toimub csv failidega, mis on alla laaditavad avalikust keskkonnaseire infosüsteemist KESE. KESE on riikliku keskkonnaseire programmi ja sellega seonduvate keskkonna uuringute-projektide raames kogutud keskkonnaseisundi andmestikku koondav andmekogu [23]. Olemihulka "Seireandmed_alates92" tunnusteks on kõik allalaetava csv faili vaikimisi saadud veerud. Igas kirjes (reas) on andmed ühe kvaliteedinäitaja tulemuste kohta ühel seirekorral ühes vooluveekogumis.

Olemihulka "Seireandmed_alates92" on antud töö raames kantud 6 vooluveekogumi (tüüpi B – Emajõgi: Kavastu, Selja jõgi: suue, Vääna jõgi: suue, Vääna-Jõesuu sild, Pärnu jõgi: Oore; tüüpi IV – Narva jõgi: Narvast allavoolu; tüüpi A – Pudisoo jõgi: Pudisoo) seiretulemused aastatel 1992 – 2018. Valikul on arvestatud tingimusega, et esindatud oleksid kõik kolm erinevat vooluveekogumi tüüpi, kuna hinnatavate kvaliteedinäitajate seisundiklasside piirid on tüüpidele mõneti erinevad (tabelid 1 – 3).

Veebirakenduse tarbeks koostas autor olemihulkade ühendamise ja vastavate päringute teel vaate kuue kvaliteedinäitaja (pH (proovivõtul), hapniku küllastusaste (proovivõtul), biokeemiline hapnikutarve (BHT_5), ammooniumlämmastik (NH_4^+), üldlämmastik ($N_{\text{üld}}$) ja üldfosfor ($P_{\text{üld}}$)) analüüside tulemustest. Väljavõtte rakenduse poolt kasutatavast andmetabelist (vaatest) on toodud lisas 2.

Kui kvaliteedinäitaja sisaldus jääb alla kasutatud metoodika määramispiiri³, siis kasutatakse rakenduses arvutuste tegemisel poolt määramispiirist. Antud nõue on toodud keskkonnaministri 25.08.2011. a määruses nr. 57 – kui füüsikalise-keemilised või keemilised mõõdetavad suurused vaadeldavas proovis on määramispiirist allpool, võetakse keskväärtuste arvutamise aluseks mõõtmistulemus, mis on asjaomase määramispiiri väärtusest poole väiksem [25].

³ Määramispiir on madalaim analüüdi sisaldus proovis, mida metoodika võimaldab usaldusväärselt kvantitatiivselt määrata [24].



Joonis 5. Andmebaasi mudel

6.3 R ja Shiny

RStudios on, kasutades lisapaketti Shiny, kirjutatud programm *app.R*, mis koondab kahte koodifaili – *ui.r* ja *server.r*.

Fail *ui.r* on mõeldud kasutajaliidese kirjeldamiseks, veebirakenduse välimuse ja paigutuse kontrollimiseks ning see moodustab tihti lühima ja kergeima osa Shiny rakendusest. Fail *server.r* defineerib reaktiivsed objektid (näiteks andmed), andmetöötlemise funktsioonid ja väljundid (näiteks graafikud). *Server.r* sisaldab juhiseid kasutajaliideses kuvatavate objektide ehitamiseks. Põhimõtteliselt on Shiny sisend- ja väljundelementide raamistik. Sisendelementid on defineeritud koodis *ui.r* ja neid töötleb *server.r*, mis saadab need seejärel tagasi *ui.r*. Viimane teab, mis tüüpi väljunditega tegu on ja kuhu need väljastada [21].

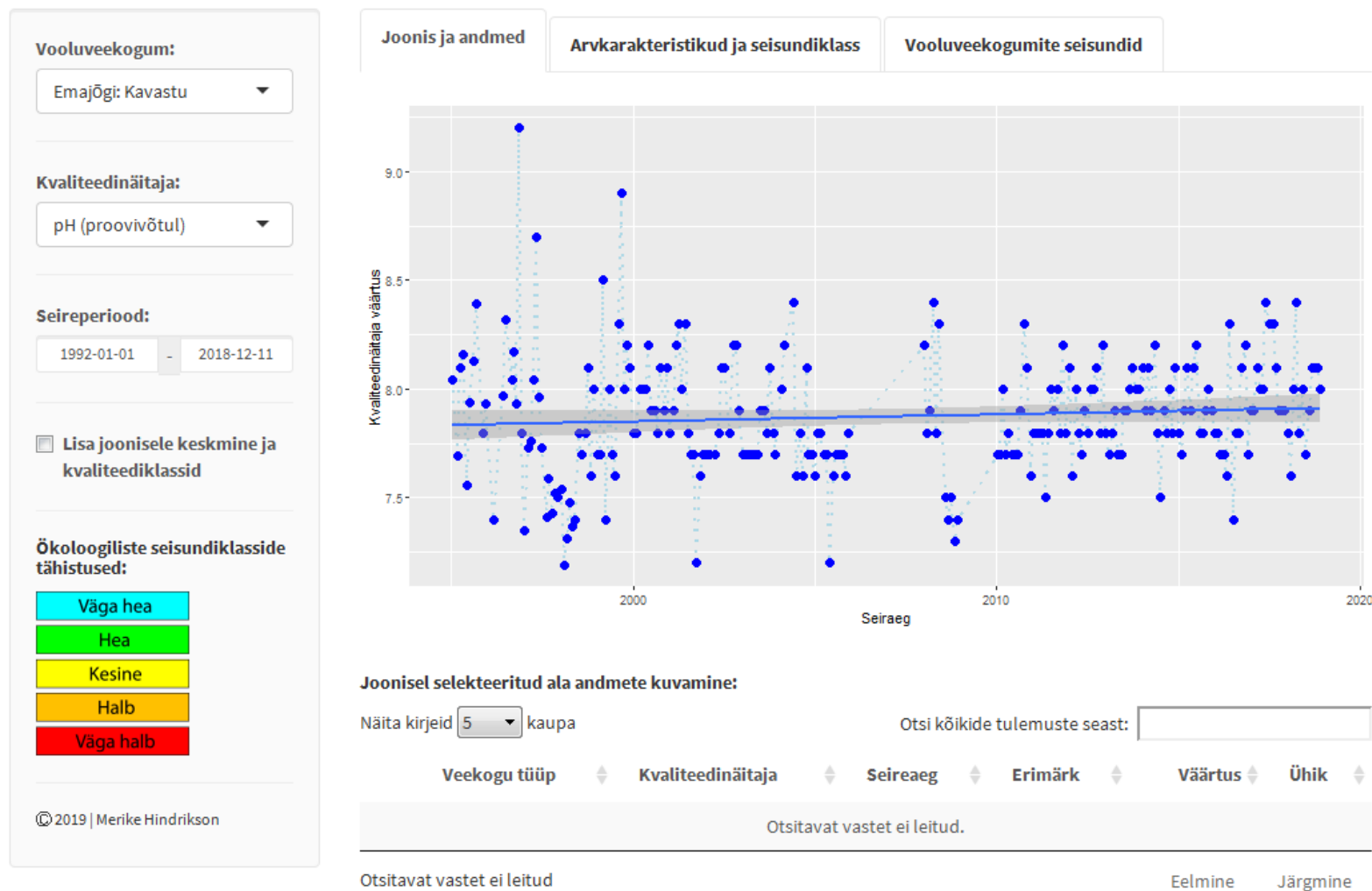
Fail *app.R* tagastab objekti ehk loob Shiny veebirakenduse *shinyApp()* funktsiooniga (*shinyApp(ui = ui, server = server)*).

Ühendus andmebaasiga Vooluveekogud.db tekitatakse kasutades R-i lisapakettide RSQLite ja DBI võimalusi.

6.4 Veebirakenduse ülesehitus ja võimalused

Loodud veebirakenduse avalehel on näha sisenditeks mõeldud lehe vasakpoolses osas paiknev külgpaneel ja väljunditeks loodud põhiala (vaade 1). Põhialal on väljundid jagatud kolmeks sakkiks – I sakk: Joonis ja andmed; II sakk: Arvkarakteristikud ja seisundiklass; III sakk: Vooluveekogumite seisundid.

Vooluveekogumite seisundite hindamine



Vaade 1. Veebirakenduse avaleht.

Kasutaja saab külgpaneelilt sisenditeks valida huvipakkuva vooluveekogumi, hinnatava kvaliteedinäitaja ja seireperioodi (vaade 2). Märkeruudu “Lisa joonisele keskmine ja kvaliteediklassid” sisse lülitamisel kuvatakse joonisele kvaliteedinäitaja keskmine sisaldus ja vastavale kvaliteedinäitajale sätestatud seisundiklasside piirid, arvestades valitud vooluveekogumi tüüpi. Samuti on külgpaneelil toodud legend ökoloogiliste seisundiklasside värvitähistuste kohta.

Vooluveekogum:

Emajõgi: Kavastu ▼

Kvaliteedinäitaja:

pH (proovivõtul) ▼

Seireperiood:

1992-01-01 - 2018-12-11

☐ Lisa joonisele keskmine ja kvaliteediklassid

Ökoloogiliste seisundiklasside tähistused:

Väga hea

Hea

Kesine

Halb

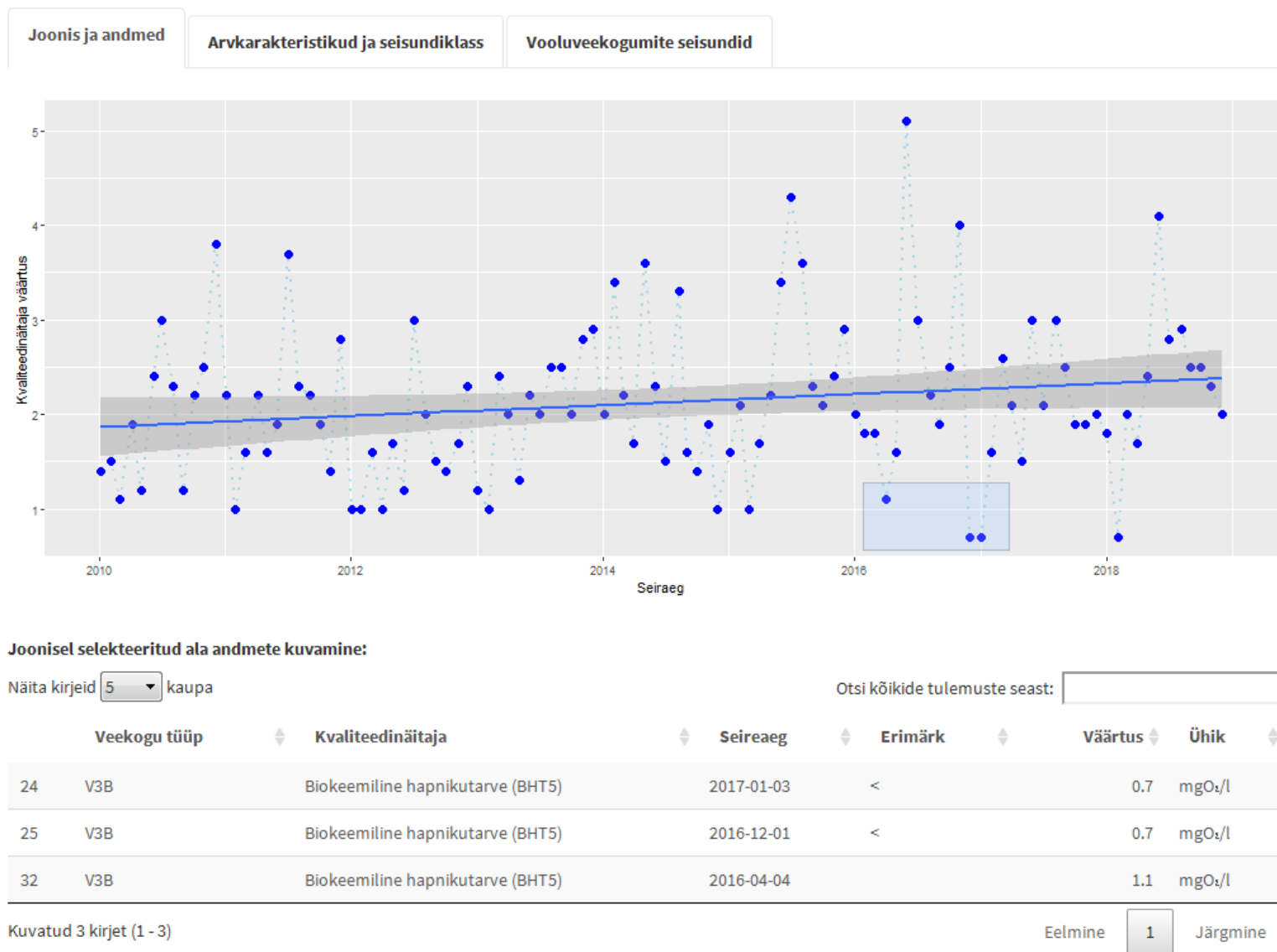
Väga halb

© 2019 | Merike Hindrikson

Vaade 2. Kasutaja poolt valitavad sisendid (külgpaneel).

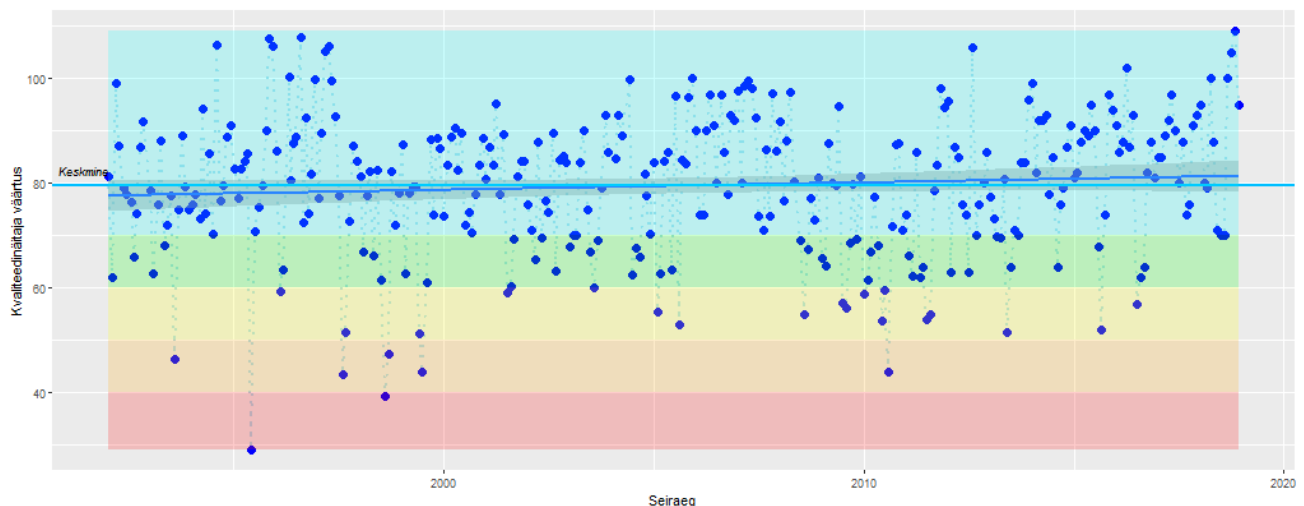
Rakenduse väljundi I sakk: Joonis ja andmed (vaade 3). Antud vaates kuvatakse interaktiivsel graafikul kasutaja poolt valitud kvaliteedinäitaja sisaldused koos lineaarse trendijoonega sisenditeks valitud vooluveekogumi ja seireperioodi kohta. Trendijoon on esitatud koos 95% usaldusvahemikuga.

Graafikul huvipakkuvaid punkte selekteerides (ristkülikukujulise ala märgistamisel) kuvatakse allolevas tabelis märgitud punktidele vastavad andmed: valitud vooluveekogumi tüüp, kvaliteedinäitaja nimetus, seireaeg, erimärk (kuvab märgi "<", kui valitud kvaliteedinäitaja väärtus jäi alla kasutatud meetoodika määramispiiri), kvaliteedinäitaja väärtus ja ühik. Tabelist on võimalik teha otsinguid ja kõikide veergude järgi sorteerimist (tabelis veeru pealkirja nimetusel klikates kuvatakse tabelis olevad read kasvavas või kahanevas suunas sorteerituna).



Vaade 3. Joonis ja andmed (rakenduse väljundi I sakk).

Lülitades külgpaneelilt sisse märkeruudu “Lisa joonisele keskmine ja kvaliteediklassid”, kuvatakse joonisele kvaliteedinäitaja keskmine sisaldus (sinise joonega, tähistatud märkega “Keskmine”) ning valitud kvaliteedinäitajale sätestatud seisundiklasside piirid, arvestades valitud vooluveekogumi tüüpi (tabelid 1 – 3). Joonisel on kasutatud seisundiklasside vahemike tähistamisel külgpaneelil toodud värvitähistusi läbipaistvuse astmega $\alpha = 0.2$ (vaade 4).



Vaade 4. Emajões, Kavastu seirepunktis mõõdetud hapniku küllastusastmed (proovivõtul) aastatel 1992-2018.

Rakenduse väljundi II sakk: Arvkarakteristikud ja seisundiklass. Antud vaate ülemises tabelis on toodud valitud kvaliteedinäitaja peamised arvkarakteristikud: valimi maht, aritmeetiline keskmine, mediaan, väikseim ja suurim väärtus ning dispersioon ja standardhälve. Arvutused on tehtud kasutaja poolt valitud seireperioodi kohta. Lähtutakse tingimusest, et kui kvaliteedinäitaja väärtus on alla kasutatud metoodika määramispiiri, siis kasutatakse arvutuste tegemisel poolt määramispiirist. Sellisel juhul on toodud veerus “Väikseim väärtus” kvaliteedinäitaja väärtus koos märgiga “<” (vaade 5).

Antud vaate teises tabelis on toodud valitud vooluveekogumi kohta käiv informatsioon (vooluveekogumi nimi, veekogumi kood ja tüüp) ning valitud kvaliteedinäitaja arvutuste aluseks olev proovide arv ehk valimi maht, aritmeetiline keskmine või kvantiil koos näitaja ühikuga ning kvaliteedinäitaja ökoloogiline seisundiklass, arvestades valitud vooluveekogumi tüüpi ja antud tüübile sätestatud seisundiklasside piire (tabelite 1 – 3 alusel).

Vooluveekogum:

Emajõgi: Kavastu

Kvaliteedinäitaja:

Biokeemiline hapnikutarve (BHT5)

Seireperiood:

2018-01-01 - 2018-12-11

☐ Lisa joonisele keskmine ja kvaliteediklassid

Joonis ja andmed

Arvkarakteristikud ja seisundiklass

Vooluveekogumite seisundid

Arvkarakteristikud

Emajõgi: Kavastu kvaliteedinäitaja 'Biokeemiline hapnikutarve (BHT5)' arvkarakteristikud valitud seireperioodil:

Valimi maht	Aritmeetiline keskmine	Mediaan	Väikseim väärtus	Suurim väärtus	Standardhälve	Dispersioon
12	2.28	2.35	<	0.70	4.10	0.88

Kvaliteedinäitaja ökoloogiline seisundiklass

Emajõgi: Kavastu kvaliteedinäitaja 'Biokeemiline hapnikutarve (BHT5)' ökoloogiline seisundiklass valitud seireperioodil:

Vooluveekogum	Veekogumi kood	Tüüp	Proovide arv	Aritmeetiline keskmine	Ühik	Seisundiklass
Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	12	2.28	mgO ₂ /l	Hea klass

Vaade 5. Arvkarakteristikud ja seisundiklass (rakenduse väljundi II sakk).

Rakenduse väljundi III sakk: Vooluveekogumite seisundid. Antud vaates on toodud kasutaja poolt valitud seireperioodi kohta leitud füüsikalis-keemiliste kvaliteedinäitajate ökoloogilised seisundiklassid tabelite 1 – 3 alusel ja koondmäärangud kõikide andmebaasis leiduvate vooluveekogumite kohta (vaade 6).

Lähtutakse tingimusest, et kui pH väärtus on vahemikus 6.0 – 9.0, siis määratakse füüsikalis-keemiliste üldtingimuste koondmääranu andmiseks igale hinnatavale kvaliteedinäitajale (välja arvatud pH) ökoloogiline seisundiklass tabelite 1 – 3 alusel ja antakse sellele ökoloogilisele seisundiklassile vastav hindepunkt skaalas 1 – 5. Rakenduses näeb kvaliteedinäitajate seisundiklasse koos väärtustega, aga väärtustele vastavaid hindepunkte ei ole rakenduses näidatud. Koondmääranu veerus on toodud kvaliteedinäitajatele antud hindepunktide summa, mis on värvitud vastavalt saadud seisundiklassile (tabel 4 alusel).

Arvestatud on tingimusega, et kui vähemalt ühe hinnatava kvaliteedinäitaja (välja arvatud pH) ökoloogiline seisundiklass on halb või väga halb, ei saa füüsikalis-keemiliste üldtingimuste koondmääranu sõltumata hindepunktide summast olla üle kesise. Näiteks, 2018. aasta andmete põhjal oli Vääna jõe suudme üldfosfori keskmine sisaldus väga halvas ökoloogilises seisundiklassis. Viie kvaliteedinäitaja ökoloogilistele seisundiklasside vastavate hindepunktide summa on 19, mis tabeli 4 alusel annab vooluveekogumi koodmääranuks hea, kuid kuna ühe kvaliteedinäitaja ökoloogiline seisundiklass oli väga halb, siis on lõplik koondmääranu kesine (vaade 6).

Kvaliteedinäitajate seisundiklassid (koos väärtustega) ja koondmäärangud on tähistatud vastavate seisundiklasside värvidega. Vastav legend on toodud külgpaneelil.

Vooluveekogumi koondmäärangu leidmisel ei määrata ökoloogilist seisundiklassi pH väärtusele. Samas peab kõikide vooluveekogude tüüpide korral arvestama tingimusega, et pH jääb vahemikku 6.0 – 9.0. Sakis “Arvkarakteristikud ja seisundiklass” näeb valitud vooluveekogumi pH seisundiklassi valitud seireperioodil veerus “Seisundiklass”. Kui pH on vahemikus 6.0 – 9.0, siis on pH seisundiklass väga hea, vastasel juhul väga halb. Seisundiklasside vahemikud on näha värvitähistustega ka rakenduse väljundi I saki joonisel, kui külgpaneelilt on märkeruut “Lisa joonisele keskmine ja kvaliteediklassid” sisse lülitatud.

Kui vähemalt ühe kvaliteedinäitaja seisundiklassi ei ole võimalik hinnata (st andmed valitud seireperioodil puuduvad), siis ei arvutata selle perioodi kohta ka koondmäärangut. Hindamata kvaliteedinäitaja ja koondmäärangu lahtrid on sellisel juhul tabelis tühjad. Samuti ei kuvata I sakis joonist ja II sakis on arvkarakteristikute ja seisundite tabelites märke “NA”.

Vooluveekogumite seisundite tabelist on võimalik teha otsinguid ja kõikide veergude järgi sorteerimist (tabelis veeru pealkirja nimetusel klikates kuvatakse tabelis olevad read kasvavas või kahanevas suunas sorteerituna).

Joonis ja andmed

Arvkarakteristikud ja seisundiklass

Vooluveekogumite seisundid

Vooluveekogumite füüsikalise-keemiliste kvaliteedinäitajate seisundiklassid ja koondmäärangud

Näita kirjeid kaup

Otsi kõikide tulemuste seast:

	Vooluveekogum	Veekogumi kood	Tüüp	pH 10% väärtus	O ₂ (%) 10% väärtus	BHT ₅ (mgO ₂ /l) keskmine	NH ₄ (mgN/l) 90% väärtus	Üld-N (mg/l) keskmine	Üld-P (mg/l) keskmine	Koondmäärang
1	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	7.71	70.1	2.28	0.176	1.90	0.049	22
2	Pärnu jõgi: Oore	1123500_3	V3B	7.90	89.7	1.00	0.040	2.04	0.027	24
3	Selja jõgi: suue	1074600_4	V2B	8.11	84.1	1.91	0.116	5.86	0.047	21
4	Vääna jõgi: suue, Vääna-Jõesuu sild	1094500_2	V2B	7.34	84.3	1.62	0.110	2.25	0.132	19
5	Narva jõgi: Narvast allavoolu	1062200_2	V4B	8.10	84.2	1.81	0.031	0.58	0.027	24
6	Pudisoo jõgi: Pudisoo	1080600_1	V1A	7.12	91.2	1.83	0.079	0.93	0.093	23

Kuvatud 6 kirjet (1 - 6)

Eelmine

1

Järgmine

Vaade 6. Vooluveekogumite seisundid (rakenduse väljundi III sakk). Valitud seireperiood: 01.01.2018 – 31.12.2018.

6.5 Testimine

Tarkvara testimine on tarkvaraarenduse protsess, mille käigus püütakse hinnata tarkvara kvaliteeti [26]. Kitsamas mõttes on testimine tarkvara täitmine/käivitamine kontrollimaks, kas ta vastab ettenähtud nõuetele ning leidmaks vigu [27]. Laiemas mõttes on testimine tarkvara analüüsi protsess, mille käigus “püütakse leida erinevusi olemasolevate ja nõutud tingimuste vahel ning hinnata tarkvara omadusi” [26]. Käesolevas töös testiti veebirakendust kitsamas mõttes.

Testimine toimus arenduse käigus autori poolt ning peale veebirakenduse valmimist kahe huvigruppi kuuluva isiku poolt. Arenduse käigus testis autor veebirakendust pidevalt ning leitud puudused ja vead parandas autor koheselt.

Arendaja poolsest testimisest üldjuhul ei piisa, kuna autor jälgib oma loogikat ega suuda prognoosida kasutaja võimalikke tegevusi, autor pole alati piisavalt enesekriitiline ja ei taha oma tööd “lõhkuda”, autori otsene motivatsioon on lõpetada töö jne. Häid tulemusi võib oodata süsteemi tulevastelt kasutajatelt, kes ei ole arendusega seotud [28].

Kahe huvigruppi kuuluva testija ülesandeks oli testida rakenduse toimimist ja vastavust ettenähtud nõuetele (peatükk 3 põhjal), leida vigu, mida autor ise ei märganud ning teha üleüldisi märkusi veebirakenduse kohta. Tegu oli nõ. spetsifikatsiooni põhise testimisega ehk “testimine musta kasti meetodil”, mille puhul testija ei tea programmi sisemist ehitust või ei analüüsi seda [28].

Tuginedes kahe isiku testimise tulemustele, võib öelda, et loodud veebirakendus vastab peatükis 3 esitatud nõuetele ja täidab oma eesmärgi. Ilmnenud puudused, ettepanekud ja kommentaarid on järgmised:

- Rakenduse I sakis (Joonis ja andmed) võiks olla võimalus valida lisaks lineaarsele trendijoonele teist tüüpi trendijooni. Trendijoonele võiks kuvada headust kirjeldava determinatsioonikordaja R^2 .
- Rakenduse I sakis (Joonis ja andmed) võiks kuvada joonisele pealkirja valitud vooluveekogumi, kvaliteedinäitaja ja seireperioodiga. Näiteks: Emajõgi: Kavastu üldlammastik seireperioodil 01.01.2018 – 31.12.2018.

- Rakenduse II saki (Arvkarakteristikud ja seisundiklass) tabelite pealkirjas võiks kuvada kasutaja poolt valitud seireperioodi. Näiteks: Emajõgi: Kavastu kvaliteedinäitaja 'Üldlämmastik' arvkarakteristikud seireperioodil 01.01.2018 – 31.12.2018.
- Rakenduse II saki (Arvkarakteristikud ja seisundiklass) esimeses tabelis tuleks sõltuvalt kvaliteedinäitajast näidata väärtusi erineva komakohtade arvuga (nt üldfosfori korral tuhandikega).
- Rakenduse III sakis (Vooluveekogumite seisundid) võiks pealkirja juurde lisada kasutaja poolt valitud seireperioodi, mis andmete alusel kvaliteediklassid on leitud. Näiteks: Vooluveekogumite füüsikalise-keemiliste kvaliteedinäitajate seisundiklassid ja koondmäärangud seireperioodil 01.01.2018-31.12.2018.
- Rakenduse I saki joonise ja III saki tabeli võiks kasutaja saada pildi vormingus alla laadida.
- Rakenduse III saki (Vooluveekogumite seisundid) tabeli tulemused võiks lisaks kanda kaardile. Kaardi võiks saada pildi vormingus alla laadida.
- Rakenduses toodud tekstides õigekirjavigu ei esine. Sakkide vaheline liikumine ja päringutele vastamine on kiire. Rakendus on lihtsa ja loogilise ülesehitusega.
- Seireandmete töötlemise seisukohalt on rakendus ülivajalik. Arvestades seda, et seires on palju veekogumeid, mida on vaja hinnata ja seireandmete suundumust jälgida, kiirendab rakendus oluliselt tööprotsessi. Peame tähtsaks rakenduse edasist täiustamist.

7. Kokkuvõte

Käesoleva magistritöö käigus loodi veebirakendus vooluveekogumite seisundite hindamiseks kasutades andmebaasisüsteemi SQLite, programmeerimiskeelt R ja tema veebirakenduste loomiseks mõeldud lisapaketti Shiny.

Rakendusega on võimalus hinnata vooluveekogumi ökoloogilist seisundit füüsikalise-keemiliste kvaliteedinäitajate alusel valitud seireperioodi kohta. Rakendus pärib andmebaasist sobival kujul andmed, visualiseerib need, arvutab erinevaid arvkarakteristikuid ja leiab ökoloogilised seisundiklassid koos füüsikalise-keemiliste üldtingimuste koondmäärangutega.

Esiolgses lahenduses kanti rakenduse poolt kasutatavasse andmebaasi kõiki kolme vooluveekogu tüüpi esindavad kuue vooluveekogumi seiretulemused aastatel 1992-2018. Järgmiste sammudena otsib autor võimalust ühildada süsteem olemasoleva KESE andmebaasiga või jätkab antud töö raames loodud andmebaasi täiendamisega.

Veebirakenduse edasiarendamise esimese sammuna püüab autor täita testijate poolt esitatud ettepanekud. Seejärel jätkatakse veebirakenduse testimist ja arendamist, korrigeerides ja lisades vajadusel uusi kasutajaliidese elemente. Sarnane hindamissüsteem on edaspidi vajalik luua ka seisuveekogumitele.

8. Kasutatud kirjandus

1. Keskkonnaagentuur, Eesti keskkonnaseire 2011-2015. 2017.
http://www.keskkonnaagentuur.ee/sites/default/files/keskkonnaseire_2017_18.05_16plik.pdf (22.02.2019)
2. Pinnaveekogumite moodustamise kord ja nende pinnaveekogumite nimestik, mille seisundiklass tuleb määrata, pinnaveekogumite seisundiklassid ja seisundiklassidele vastavad kvaliteedinäitajate väärtused ning seisundiklasside määramise kord, 2010. Keskkonnaministri 28. juuli 2009. a määrus nr 44. RT I, 25.11.2010, 15.
<https://www.riigiteataja.ee/akt/125112010015> (22.02.2019)
3. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Jõgede hüdrokeemiline seire ja ohtlikud ained 2017. 2018.
<https://kese.envir.ee/kese/downloadReportFile.action?fileUid=9334722&monitoringWorkUid=1407059> (22.02.2019)
4. Sauga, A. Statistika ja tõenäosusteooria. 2006.
<https://www.sauga.pri.ee/audentes/download/stait.pdf> (06.04.2019)
5. Tõenäosuspaber (*quantile-quantile plot*),
http://www.eau.ee/~ktanel/joonised_excelis/joonis2.php (20.03.2019)
6. *R documentation. Quantile*,
<http://www.rdocumentation.org/packages/stats/versions/3.5.3/topics/quantile> (20.03.2019)
7. *Quantile*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Quantile> (18.04.2019)
8. Hyndman, R. J., Fan, Y. *Sample Quantiles in Statistical Packages*. The American Statistician, Vol. 50, No. 4 (Nov., 1996), pp. 361-365.
9. Veeveebi arhitektuur, <https://www.riha.ee/api/v1/systems/VeeVeeb/files/173dceb2-3185-414e-8b78-a77c04f8f439> (17.04.2019)
10. Veeveeb, <https://veeveeb.envir.ee/vesi/> (23.04.2019)
11. Tarkvara disain, https://et.wikipedia.org/wiki/Tarkvara_disain (18.04.2019)
12. *Statistical Programming with R*, <https://est.topbrainscience.com/3190410-how-to-add-a-trend-line> (07.04.2019)
13. Trendi joone suvand Office'is, <https://support.office.com/et-ee/article/trendi-joone-suvandid-office-is-92157920-fee4-4905-bc89-6a0f48152c52> (07.04.2019)
14. Tooding, L-M. Andmete analüüs ja tõlgendamine sotsiaalteadustes. Tartu Ülikooli Kirjastus. 2007

15. Sotsiaalse analüüsi meetodite ja metodoloogia õpibaas, <http://samm.ut.ee/usaldusvahemik> (07.04.2019)
16. Põhitõdesid andmebaasidest, http://lambda.ee/wiki/P%C3%B5hit%C3%B5desid_andmebaasidest (04.04.2019)
17. *About SQLite*, <https://www.sqlite.org/about.html> (26.03.2019)
18. R (programmeerimiskeel), [https://et.wikipedia.org/wiki/R_\(programmeerimiskeel\)](https://et.wikipedia.org/wiki/R_(programmeerimiskeel)) (26.03.2019)
19. *RStudio*, <https://www.rstudio.com/> (26.03.2019)
20. McGrath, M. *R for Data Analysis*. In Easy Steps Ltd. 2018
21. Beeley, C. *Web Application Development with R Using Shiny*. Packt Publishing Ltd. 2013
22. Keskkonnaregistri kood, https://et.wikipedia.org/wiki/Keskkonnaregistri_kood (04.04.2019)
23. Keskkonnaseire infosüsteem KESE, <https://kese.envir.ee/kese/welcome.action> (04.04.2019)
24. Meetodite ja metoodikate omadusi iseloomustavad parameetrid, http://tera.chem.ut.ee/~ivo/ak1/metoodika_parameetrid.pdf (05.04.2019)
25. Nõuded vee füüsikalis-keemiliste ja keemiliste parameetrite uuringuid teostavale katselaborile, nende uuringute raames tehtavatele analüüsidele ja katselabori tegevuse kvaliteedi tagamisele ning analüüsi referentmeetodid, 2011. Keskkonnaministri 25. augusti 2011. a määrus nr 57. RT I, 29.08.2011, 4. <https://www.riigiteataja.ee/akt/129082011004> (22.04.2019)
26. Tarkvara testimine, https://et.wikipedia.org/wiki/Tarkvara_testimine (08.04.2019)
27. British Computer Society Specialist Interest Group in Software Testing, BCS SIGiST, http://www.testingstandards.co.uk/living_glossary.htm#T (08.04.2019)
28. Tepandi, J. Tarkvara protsessid, kvaliteet ja standardid. 2017. <http://tepandi.ee/tks-loeng.pdf> (08.04.2019)

9. Lisad

I. Lühendid ja mõisted

ADS – aadressiandmete süsteem.

DEM-kõrgusmudel – digitaalne kõrgusmudel.

EELIS – Eesti Looduse Infosüsteem.

eKataster – elektrooniline maakatastri ja digitaalarhiivi tarkvara.

ETAK – Eesti topograafia andmekogu.

GIS – geograafiline infosüsteem.

KeM – Keskkonnaministeerium.

KEMIT – Keskkonnaministeeriumi Infotehnoloogiakeskus.

KESE – keskkonnaseire andmete kogumise ja avalikustamise infosüsteem.

KHT_{Mn} – keemiline hapnikutarve (permanganaadne).

KLIS – Keskkonnaameti keskkonnateenuste portaal.

Määramispiir – madalaim analüüdi sisaldus proovis, mida metoodika võimaldab usaldusväärselt kvantitatiivselt määrata.

Pinnaveekogum – selgelt eristuv ja oluline osa pinnaveest, nagu järv, veehoidla, jõgi, oja või kanal, järve-, jõe-, oja- või kanali osa, või rannikuvee osa, mis võetakse seisundiklassi määramisel aluseks.

PRIA – Põllumajanduse Registrate ja Informatsiooni Amet

Seireandmed – proovivõtu hetke peegeldus seiratavas punktis.

VEKA – veekasutuse veebileht.

Vooluveekogum – vooluveekogu pinnaveekogum.

VRD – veepoliitika raamdirektiiv.

II. Väljavõtte rakenduse poolt kasutatavast andmebaasi tabelist

	SeirekohaKKR	SeirekohaNimi	SeirekoqumiKood	Tvyp	Aasta	Proovimaatriks	Seireaeq	N2itajaNimetus	Erim2rk	Arvv22rtus	V22rtused	V22rtuseVhik
1	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-12-03	Üldlämmastik		2.1	2.1	mg/l
2	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-12-03	Ammooniumlämmastik (NH4N)		0.18	0.18	mgN/l
3	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-12-03	Üldfosfor		0.04	0.04	mg/l
4	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-12-03	pH (proovivõtul)		8	8	
5	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-12-03	Hapniku küllastusaste (proovivõtul)		95	95	%
6	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-12-03	Biokeemiline hapnikutarve (BHT5)		2	2	mgO ₂ /l
7	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-11-01	Biokeemiline hapnikutarve (BHT5)		2.3	2.3	mgO ₂ /l
8	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-11-01	Ammooniumlämmastik (NH4N)		0.021	0.021	mgN/l
9	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-11-01	Üldlämmastik		2.4	2.4	mg/l
10	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-11-01	Üldfosfor		0.065	0.065	mg/l
11	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-11-01	pH (proovivõtul)		8.1	8.1	
12	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-11-01	Hapniku küllastusaste (proovivõtul)		109	109	%
13	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-10-01	Üldlämmastik		1.1	1.1	mg/l
14	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-10-01	Hapniku küllastusaste (proovivõtul)		105	105	%
15	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-10-01	pH (proovivõtul)		8.1	8.1	
16	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-10-01	Ammooniumlämmastik (NH4N)		0.012	0.012	mgN/l
17	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-10-01	Üldfosfor		0.06	0.06	mg/l
18	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-10-01	Biokeemiline hapnikutarve (BHT5)		2.5	2.5	mgO ₂ /l
19	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-09-03	Hapniku küllastusaste (proovivõtul)		100	100	%
20	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-09-03	pH (proovivõtul)		8.1	8.1	
21	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-09-03	Ammooniumlämmastik (NH4N)	<	0.01	0.005	mgN/l
22	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-09-03	Üldlämmastik		0.87	0.87	mg/l
23	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-09-03	Üldfosfor		0.044	0.044	mg/l
24	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-09-03	Biokeemiline hapnikutarve (BHT5)		2.5	2.5	mgO ₂ /l
25	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-08-07	Hapniku küllastusaste (proovivõtul)		70	70	%
26	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-08-07	pH (proovivõtul)		7.9	7.9	
27	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-08-07	Ammooniumlämmastik (NH4N)		0.046	0.046	mgN/l
28	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-08-07	Üldlämmastik		0.87	0.87	mg/l
29	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-08-07	Üldfosfor		0.068	0.068	mg/l
30	SJA8007000	Emajõgi: Kavastu	1023600_1	V3B	2018	Pinnavesi	2018-08-07	Biokeemiline hapnikutarve (BHT5)		2.9	2.9	mgO ₂ /l

III. Veebirakenduse aadress

Käesoleva töö tulemusena valminud veebirakendus asub aadressil:

https://vvhs.shinyapps.io/Vooluveekogude_Hindamine/

IV. Litsents

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Merike Hindrikson,

(autori nimi)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose
Veebirakendus vooluveekogumite seisundite hindamiseks,
(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Helle Hein,

(juhendaja nimi)

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Merike Hindrikson

10.05.2019